

# Gridshells (II)

L'envolupant d'una **estructura lleugera**

Oriol París

*Arquitecte tècnic i arquitecte*

*Col·legiat 10.019*

*Professor de la Upc i de la Salle Ramon Llull*

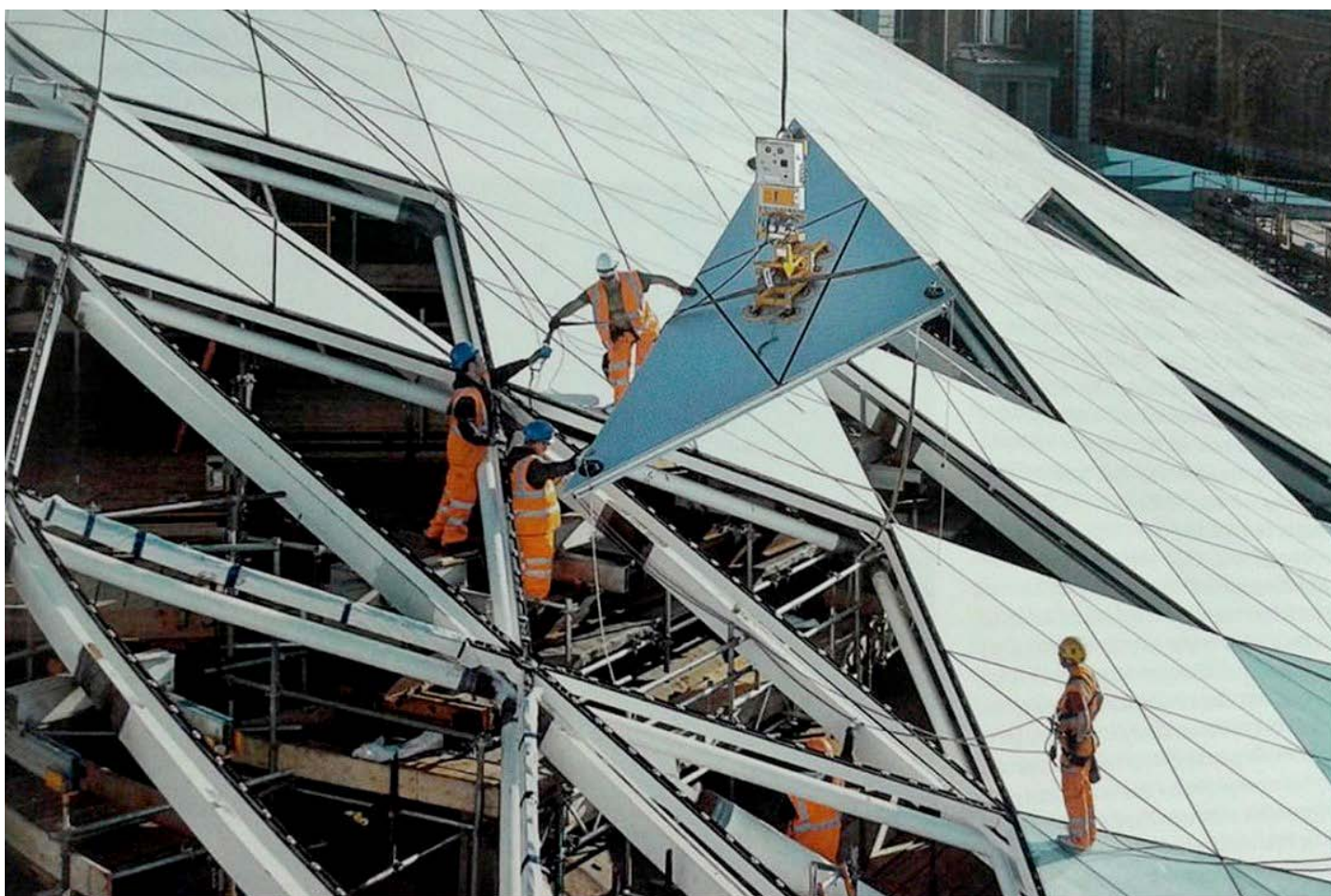


FIGURA 1: KING'S CROSS RAILWAY STATION. LONDRES. ©: INNOVATIVE DESING+CONSTRUCTION. ED. DETAIL

Com vàrem veure a l'article de L'INFORMATIU 344 titulat: 'Gridshells. Estructures lleugeres de malles optimitzades', aquestes són un tipus d'estructures espacials formades per barres contínues o discontinúes de poca secció que defineixen una malla regular i que permeten cobrir grans llums amb un ús òptim del material. Es poden classificar segons el seu procés constructiu, en elàstiques i no elàstiques. La principal diferència recau en què en les primeres, la malla està formada per barres 'elàstiques' contínues que es construeixen a peu d'obra en posició horitzontal (figura 2); per contra, les *gridshells* no elàstiques o simplement *gridshells* es construeixen per fases alternant nus i barra fins a completar els nervis que donaran forma al conjunt (figura 3).





FIGURA 2: PROJECTE SAVILL GARDENS 2006.  
©: [HTTP://GLENNHOWELLS.CO.UK](http://glennhowells.co.uk)

Com veurem, aquesta diferència també condiciona els possibles sistemes d'acabats ja que l'envolupant queda en molts casos recolzada directament sobre la malla estructural.

Les *gridshells* són sistemes estructurals molt lleugers amb una deformació superior a la que tindria una closca contínua de formigó de la mateixa forma i secció equivalent amb una important afectació pel vinclament de les barres, sobretot pel que fa a les *gridshells* elàstiques (figura 4).

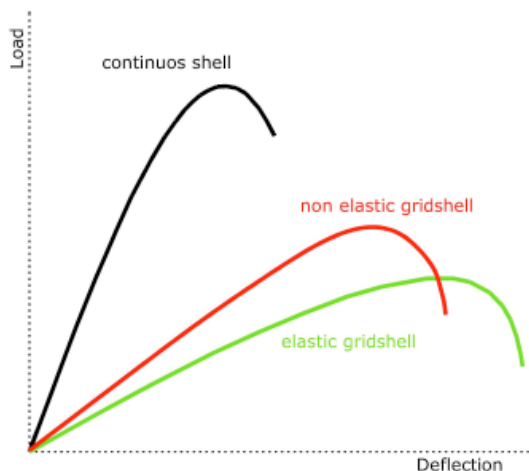


FIGURA 4: DIAGRAMA DE DEFORMACIÓ SEGONS CÀRREGA APLICADA

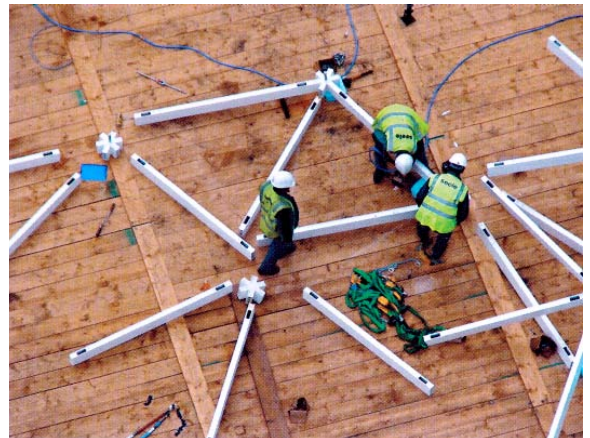


FIGURA 3: PROJECTE DE WESTFIELD (LONDRES 2008)  
©: INNOVATIVE DESIGN+CONSTRUCTION. ED. DETAIL

En comparació amb altres sistemes constructius, aquests incorporen una major dificultat alhora de dissenyar-los. Sempre que pensem en els sistemes constructius d'un edifici cal tenir present la compatibilitat entre aquests i optar pels més adequats, però en aquest cas, la compatibilitat encara es fa més evident ja que estem dissenyant l'estructura i l'envolupant al mateix temps, i una condicionarà l'altra.

Així doncs, des d'un punt de vista normatiu cal considerar tant els requeriments d'un sistema estructural lleuger com els d'una envolupant, sent molt important definir des d'un bon principi quins seran els estats límits últims i de servei alhora que dissenyem el seu sistema d'acabat.

A les *gridshells*, la compatibilitat estructura-envolupant pren una especial rellevància. Durant el disseny caldrà ser molt curós amb les deformacions de l'estructura, considerar la dilatació tèrmica dels materials i preveure correctament les sobrecàrregues de manteniment. I durant el procés d'execució caldrà tenir un control exhaustiu de les toleràncies de fabricació i muntatge dels elements així com dimensionar correctament també les toleràncies del sistema d'acabat per tal d'assumir els moviments de l'estructura.

## ■ Acabats de les grishells elàstiques o de flexió activa

Les *gridshells* elàstiques es caracteritzen per tenir una deformació superior amb un pes propi d'entre 8-10kg/m<sup>2</sup> i amb uns sistemes d'acabat opacs que pesen al voltant dels 25kg/m<sup>2</sup>. Si tenim en compte una de les condicions d'execució i analitzem les propietats dels materials que ho permeten, veiem la importància de la relació entre el mòdul de rigidesa del material i la seva resistència a flexió, valor expressat en forma de coeficient adimensional ( $f_m/E$ ). Aquest valor ens dona una referència sobre la capacitat del material per ser suficientment flexible/elàstic alhora que resistent per poder construir-les, òbviament sense oblidar la rigidesa del mateix element constructiu (figura 5).

Així doncs, en termes de relació entre el mòdul i la resistència, caldrà utilitzar els materials que tinguin un valor més elevat, entre 3 i 4. En aquest sentit les fustes frondoses o els materials compostos de fibra de vidre o carboni acostumen a ser els materials més utilitzats per a aquest tipus de *gridshells*.

El coneixement de la elasticitat d'aquests sistemes estructurals és fonamental alhora d'escollir el millor acabat per l'envolupant. Si ens fixem en un grup important de *gridshells* elàstiques construïdes fins avui dia, veiem com pràcticament totes aquestes disposen d'una envolupant opaca resolta amb materials i sistemes constructius poc exigents amb la deformació del suport. Així doncs, la fusta, els plàstics o els aïllaments de fibres acostumen a ser alguns dels materials més utilitzats en aquests tipus d'envolupants. Els projectes de *German i Essen Pavilion* (1962-1967), *Multihalle Mannheim* (1975), *Weald & Downland* (2002) o *Savill Gardens* (2006) són clars exemples d'aquests sistemes d'acabats que normalment van muntats directament sobre la malla estructural.

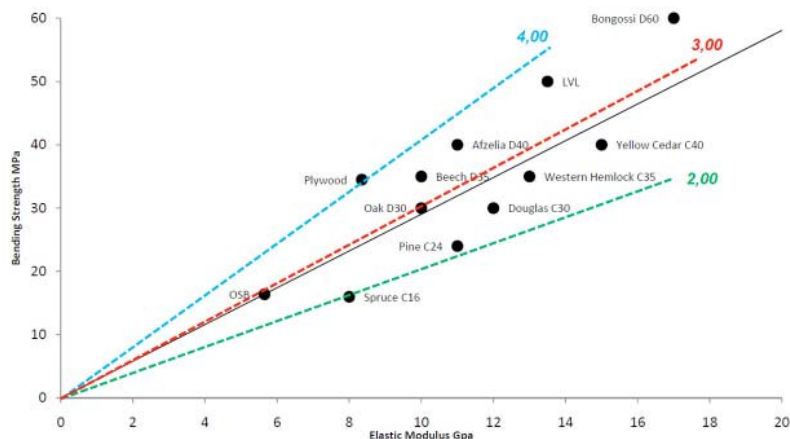


FIGURA 5: DIAGRAMA DE DEFORMACIÓ SEGONS CÀRREGA APLICADA  
©: M. COLLINS, B. O'REGAN, T. COSGROVE

Però també hi ha excepcions, tant el projecte de *Chiddingstone Castle* (2007) o el de les coves de *Waitomo Glowworm* (2010) a Nova Zelanda presenten novetats al respecte. A ambdós casos apareix un nexa d'unió entre l'estructura i l'acabat. En el node d'intersecció dels nervis s'hi disposa d'específics nexes d'unió que assumeixen responsabilitats tant des d'un punt de vista estructural com des del punt de vista dels requeriments constructius de la envolupant. El nexa connecta els nervis de la malla, distribueix les tensions dels tensors rigiditzadors alhora que també fa de suport pel muntatge de l'envolupant.

En el cas del projecte de *Waitomo Glowworm* aquesta última funció queda matisada gràcies al material elàstic de l'envolupant (ETFE etilè acetat de tetra fluoro de Texlon®) sent aquest poc sensible a la deformació de l'estructura i molt adaptable a la complexitat geomètrica. Aquí, el sistema de suport del material d'acabat queda parcialment desvinculat de l'estructura (figura 7).

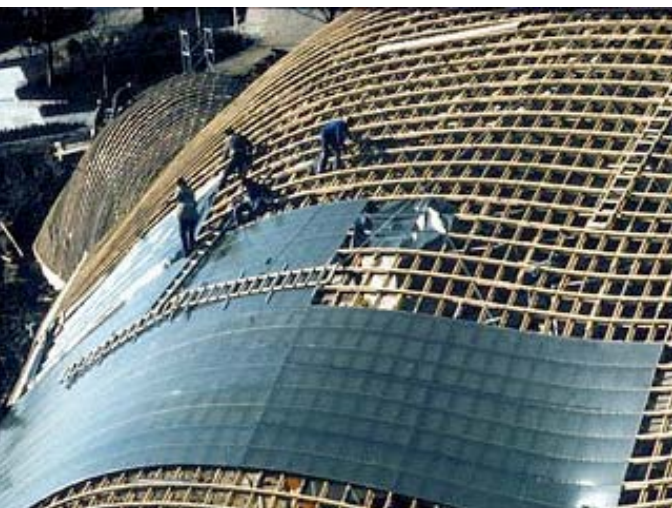


FIGURA 6:  
RECOBRIMENTS FLEXIBLES. PVC  
A MANNHEIM I Tauler CONTRALAMINAT  
A SAVILL GARDENS.  
©: WWW.FOURTHDOOR.ORG

FIGURA 7:  
NEXE DE CONNEXIÓ EN EL PROJECTE  
DE WAITOMO GLOWWORM.  
©: WWW.PATRICKREYNOLDS.CO.NZ





Però en el cas de Chiddingstone Castle el nexa encara és una mica més complex ja que el sistema d'acabat resol amb vidre, és molt més exigent. En aquest cas es va desenvolupar un element de nexa capaç de donar resposta tant al sistema estructural com als requeriments d'una tecnologia de la pell lleugera, sobretot pel que fa a les toleràncies de fabricació/muntatge, dilatacions tèrmiques i els moviments de l'estructura.

La geometria de l'envolupant està descomposta en elements triangulars formant una superfície polièdrica hexagonal. Conceptualment, el nexa d'unió entre l'estructura i el vidre es resol mitjançant un sistema de mur cortina tipus 'spider' que fixa els 6 vidres. Aquests es comporten com elements autoportants fixats per 3 punts i suporten la flexió de les càrregues de vent i manteniment (figura 8). Val la pena recordar que el vidre encara que moltes vegades no ho pensem, és un material amb una elevada resistència a flexió entre els 40MPa i els 200MPa segons si és un vidre monolític bàsic sense tractament o si és un vidre trempat. Una altra cosa és la seva fragilitat.



FIGURA 8: NEXE DE CONNEXIÓ EN EL PROJECTE DE CHIDDINGSTONE CASTLE DESENVOLUPAT PER L'EMPRESA HARAN GLASS DE GLASGOW ©: WWW.CARPENTEROAKANDWOODLAND.COM

### ■ Gridshells no elàstiques

Les *gridshells* no elàstiques es caracteritzen per tenir un comportament més rígid que les elàstiques. Normalment tenen un pes propi d'entre 25-40kg/m<sup>2</sup> i amb uns sistemes d'acabat transparents que pesen al voltant dels 65kg/m<sup>2</sup>.

Gràcies al procés constructiu, aquestes presenten avantatges pel que fa a les condicions dels materials d'acabat. El fet que la construcció es realitza per fases alternades entre barres i nusos permet utilitzar materials per a l'estructura amb valors de mòdul elàstic més alts, on la rigidesa tant de la barra com la del nus garanteixen una menor deformació del conjunt.

Però d'altra banda, la geometria global acostuma a ser més complexa i això exigeix un elevat rigor en les toleràncies dels elements tant pel que fa a la producció com en el muntatge (figura 9).

Tot i que aquí la llibertat en els acabats de l'envolupant podria ser major habitualment aquests tipus de *gridshells* es dissenyen amb un elevat percentatge de superfície vidriada, els espais coberts amb aquests sistemes prenen una dimensió especial gràcies a la il·luminació cenital (figura 10). No podem perdre de vista que en climatologies com la nostra les conseqüències tèrmiques de l'espai interior poden ser importants, de fet si ens fixem en les ubicacions de la majoria de *gridshells* vidriades veiem que aquestes se situen en latituds més altes on al cap de l'any es poden obtenir balanços energètics favorables.

Així doncs, l'envolupant d'aquest segon grup de *gridshells* pot considerar-se com un sistema de tancament lleuger en posicions predominantment horitzontals on les solucions tecnològiques podem trobar-les en la indústria dels murs cortina.

FIGURA 10: MILAN TRADE FAIR (ITÀLIA). MASSIMILIANO & DORIANA FUKSAS ARCHITECTS. ©: WWW.FUKSAS.COM

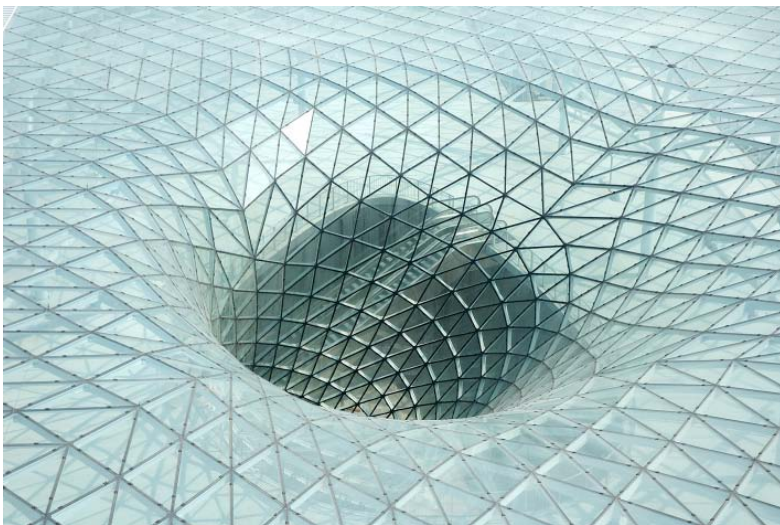


FIGURA 9: MILAN TRADE FAIR (ITÀLIA). MASSIMILIANO & DORIANA FUKSAS ARCHITECTS ©: WWW.FUKSAS.COM





## La coincidència en la modulació geomètrica

Un altre aspecte a tenir en compte en el disseny d'aquests tipus d'envolupant és la compatibilitat modular entre la malla estructural i el sistema d'acabat. En aquest tipus de *gridshells* normalment el mòdul geomètric és coincident, és a dir, la geometria de la malla estructural és la mateixa que la del sistema de l'envolupant i reproduïxen la mateixa retícula. Això fa que en molts casos la solució final no estigui optimitzada des d'un punt de vista estructural a causa de la modulació dels vidres.

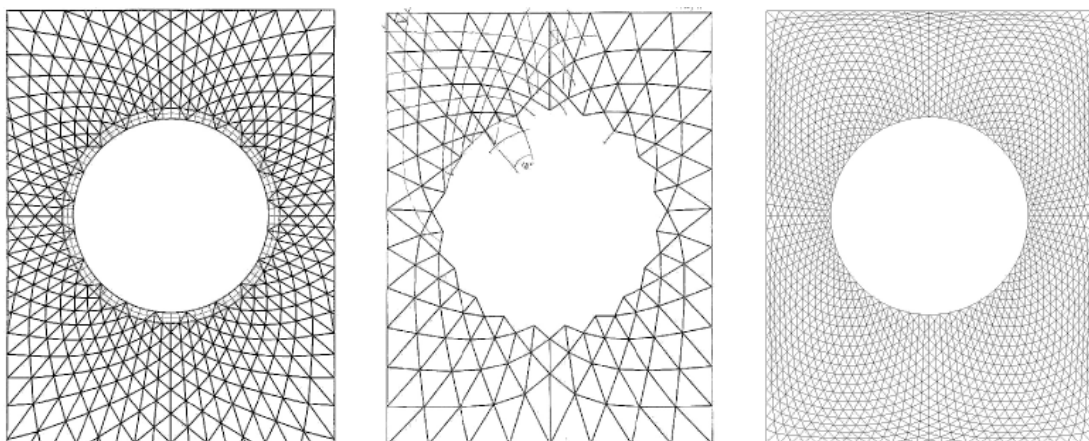


FIGURA 11.  
ANÀLISI DE LA MIDA DE MALLA I COMPATIBILITZACIÓ AMB LA DIMENSIO DEL VIDRE.  
PROJECTE: GREAT COURT DEL BRITISH MUSEUM. FOSTER & PARTNERS  
CRÈDITS: CHRIS J K WILLIAMS

Aquesta és una de les condicions que es recullen al projecte del *Great Court* de Londres, on la dimensió de la retícula estructural va haver de readaptar-se a les dimensions d'un vidre amb un cost econòmic assumible.

Però la coincidència geomètrica entre la malla i l'envolupant permet utilitzar els perfils estructurals com a suports pel vidre considerant-los anàlogament com els muntants i travessers d'un mur cortina, tot i això les empreses de muntatge acostumen a ser empreses especialitzades en *gridshells* ja que els requeriments són més exigents. Això permet que els vidres recolzin en continu sobre junts d'EPDM i/o poliamida. Garantint la compatibilitat amb el suport i l'estanquitat es resol amb els sistemes habituals de mur cortina, cordó continu de silicona i/o perfils elastomèrics conformats (figura 12 i 13). Pocs són els casos en els que trobem una tapeta exterior que desenvolupi la mateixa funció (cal tenir present que aquests sistemes d'envolupant tenen una component estètica important i es cuida molt l'aspecte tant des de dins com des de fora); posteriorment es complementa amb clips de seguretat puntuals situats en els nodes d'intersecció o en els trams entre aquests.



FIGURA 12.  
SISTEMA DE CONNEXIÓ CONTINU.  
PROJECTE: GREAT COURT DEL BRITISH MUSEUM.  
FOSTER & PARTNERS  
©: WWW.  
NOVUMSTRUCTURES.COM/  
NOVUM/INDEX.HTML

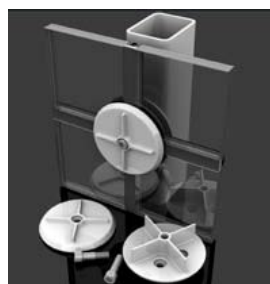
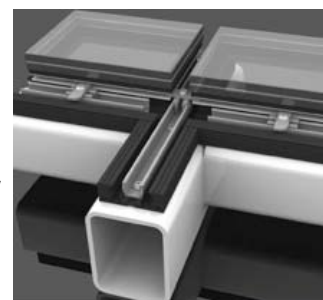


FIGURA 13.  
SISTEMA DE CONNEXIÓ PUNTUAL.  
PROJECTE: CABOT CIRCUS DE BRISTOL  
CRÈDITS: HTTP://WWW.  
NOVUMSTRUCTURES.COM/  
NOVUM/INDEX.HTML

Ateses les característiques d'aquests sistemes lleugers de tancament i el comportament estructural de la malla, caldrà tenir molt en compte la deformació tant de conjunt com localment la de les barres. Si considerem els límits de deformació d'un sistema estructural amb unes fletxes entre  $L/300$  i  $L/500$  segons el cas (CTE DB-SE) i d'altra banda les limitacions de deformació dels sistemes de façana lleugera entre  $L/200$  o  $L/500$  segons són els muntants o travessers (EN 13830), podríem considerar que com a mínim seria recomanable aplicar una limitació de deformació més restrictiva de  $L/500$  per tal de garantir sobretot la durabilitat del sistema d'acabat.

Així doncs, quan es planteja el disseny d'una envolupant d'aquest tipus caldrà preveure des d'un bon principi si estem davant d'una *gridshell* elàstica o no elàstica i, en qualsevol cas, prendre especial atenció en el càlcul de les deformacions de l'estructura i la compatibilitat d'aquesta amb els materials d'acabat que finalment qualificaran la funcionalitat de l'espai. ■